



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 7月19日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-218424

出 願 人

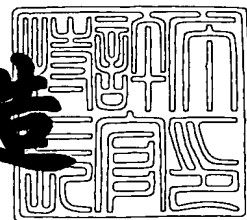
Applicant(s):

日本電信電話株式会社

2001年 8月 3日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3067827

【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH125169

【提出日】 平成12年 7月19日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H04B 10/145  
H04J 14/02

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 手島 光啓

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 荒谷 克寛

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 藤原 正満

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

【氏名】 鈴木 謙一

【特許出願人】

【識別番号】 000004226

【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

【識別番号】 100072718

【弁理士】

【氏名又は名称】 古谷 史旺

【電話番号】 3343-2901

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013354

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701422

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 コヒーレント多波長信号発生装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の波長成分を有するコヒーレントな多波長光を発生する多波長光源と、

前記多波長光を各波長に分離する分波器と、

前記分波器で分離された各波長のコヒーレント光を送信信号により変調する光変調器と、

前記光変調器で変調された各変調信号光を合波してコヒーレント多波長信号を出力する合波器と

を備えたコヒーレント多波長信号発生装置において、

前記多波長光源の相対強度雑音を  $RIN$  [dB/Hz]、自然放出に対する誘導放出確率比を  $\gamma$  [dB]、誘導放出光強度を  $P_{LAS}$  [dBm]、自然放出光強度を  $P_{SE}$  [dBm]、自然放出光帯域を  $BW_{SE}$  [Hz]、前記分波器でスペクトルスライスされた  $i$  番目の波長成分 ( $i$  番目の変調器入力) の光強度を  $P_i$  とすると、その相対強度雑音  $RIN(i)$  が、

$$RIN(i) = RIN + 10 \log_{10}(P_i / \sum P_i)$$

$$RIN = -\gamma - 10 \log_{10} BW_{SE} + 3$$

$$\gamma = 10 \log_{10}(P_{LAS} / P_{SE})$$

に従うように、前記多波長光源から出力される多波長光の光スペクトル形状を制御する構成である

ことを特徴とするコヒーレント多波長信号発生装置。

【請求項 2】 前記多波長光源から出力された前記多波長光を増幅して前記分波器に入力する光増幅器を含む請求項 1 に記載のコヒーレント多波長信号発生装置において、

前記光増幅器の利得を  $g$ 、光増幅帯域を  $BW_{AMP}$  [Hz]、横モード総数を  $m$ 、反転分布パラメータを  $n_{sp}$ 、前記多波長光源の中心光周波数を  $\nu$  [Hz] としたときに、前記分波器でスペクトルスライスされた  $i$  番目の波長成分 ( $i$  番目の変調器入力) の相対強度雑音  $RIN(i)$  が、

$$RIN(i) = RIN + 10 \log_{10}(P_i / \sum P_i)$$

$$RIN = -\gamma - 10 \log_{10} BW_{SE} + 3$$

$$\gamma = 10 \log_{10} \left[ g P_{LAS} / \{ g P_{SE} (BW_{SE} / BW_{AMP}) + h \nu \cdot (g - 1) n_{sp} \cdot m \cdot BW_{AMP} \} \right]$$

に従うように、前記多波長光源から出力される多波長光の光スペクトル形状を制御する構成である

ことを特徴とするコヒーレント多波長信号発生装置。

【請求項 3】 請求項 1 または請求項 2 に記載のコヒーレント多波長信号発生装置において、

受信器の帯域を  $B_e$  [Hz]、受信器前段の分波器の分波帯域を  $B_o$  [Hz]、信号のマーク率を  $M$ 、 $i$  番目の変調器出力の信号光強度を  $P(i)$  [dBm]、この変調器出力の誘導放出光強度を  $P_c(i)$  [dBm]、この変調器出力の自然放出光強度を  $P_s(i)$  [dBm]、前記受信器における等価的電流を  $I_{eq}$  [A]、信号成分のショット雑音を  $N_s$ 、信号成分と自然放出光のビート雑音を  $N_{s-sp}$ 、自然放出光間のビート雑音を  $N_{sp-sp}$ 、前記受信器の熱雑音を  $N_{th}$  とすると、前記変調器出力の信号対雑音比  $SNR$  が、

$$SNR = S / (N_s + N_{s-sp} + N_{sp-sp} + N_{th})$$

$$P_s(i) = RIN(i) + 10 \log_{10} B_e + P_c(i) + 10 \log_{10} M$$

$$S = ((e \eta / h \nu) P_c(i))^2$$

$$N_s = 2 e ((e \eta / h \nu) P(i)) B_e$$

$$N_{s-sp} = 4 (e \eta / h \nu)^2 P_c(i) P_s(i) B_e / B_o$$

$$N_{th} = I_{eq}^2 B_e$$

(ただし、 $S$ 、 $N_s$ 、 $N_{s-sp}$ における  $P(i)$ 、 $P_c(i)$ 、 $P_s(i)$ は

リニア表記、単位はW)

に従うように、前記多波長光源から出力される多波長光の光スペクトル形状を制御する構成である

ことを特徴とするコヒーレント多波長信号発生装置。

【請求項 4】 請求項 1 または請求項 2 に記載のコヒーレント多波長信号発生装置において、

受信器の帯域を  $B_e$  [Hz]、受信器前段の分波器の分波帯域を  $B_o$  [Hz]、信号のマーク率を  $M$ 、 $i$  番目の変調器出力の信号光強度を  $P(i)$  [dBm]、この変調器出力の誘導放出光強度を  $P_c(i)$  [dBm]、この変調器出力の自然放出光強度を  $P_s(i)$  [dBm]、前記受信器における等価的電流を  $I_{eq}$  [A]、前記合波器における  $j$  番目のポートから  $i$  番目のポートに漏れ込む割合を  $X_T(j)$ 、前記合波器におけるクロストーク信号光強度を  $P_x(i)$  [dBm]、信号成分のショット雑音を  $N_s$ 、信号成分と自然放出光のビート雑音を  $N_{s-sp}$ 、信号成分とクロストーク信号光のビート雑音を  $N_{s-x}$ 、自然放出光間のビート雑音を  $N_{sp-sp}$ 、クロストーク信号光と自然放出光のビート雑音を  $N_{x-sp}$ 、前記受信器の熱雑音を  $N_{th}$  とすると、前記変調器出力の信号対雑音比  $S/NR$  が、

$$S/NR = S / (N_s + N_{s-sp} + N_{x-sp} + N_{sp-sp} + N_{s-x} + N_{th})$$

$$P_s(i) = R I N(i) + 10 \log_{10} B_e + P_c(i) + 10 \log_{10} M$$

$$P_x(i) = \sum P(j) \cdot X_T(j)$$

$$S = ((e \eta / h \nu) P_c(i))^2$$

$$N_s = 2 e ((e \eta / h \nu) P(i)) B_e$$

$$N_{s-sp} = 4 (e \eta / h \nu)^2 P_c(i) P_s(i) B_e / B_o$$

$$N_{x-sp} = 4 (e \eta / h \nu)^2 P_x(i) P_s(i) B_e / B_o$$

$$N_{s-x} = (e \eta / h \nu)^2 P_c(i) P_x(i)$$

$$N_{th} = I_{eq}^2 B_e$$

(ただし、 $S$ 、 $N_s$ 、 $N_{s-sp}$ 、 $N_{x-sp}$ 、 $N_{s-x}$  における  $P(i)$ 、 $P_c(i)$ 、

$P_s(i)$  はリニア表記、単位は W)

に従うように、前記多波長光源から出力される多波長光の光スペクトル形状を制御する構成である

ことを特徴とするコヒーレント多波長信号発生装置。

【請求項 5】 請求項 1～4 のいずれかに記載のコヒーレント多波長信号発生装置において、

前記多波長光源は、単一の中心波長を有する光を発生する光源と、その出力光を所定の周期信号により強度変調または位相変調して多波長光を発生させる光変調器とを備え、前記周期信号の電圧または前記光変調器のバイアス電圧の少なく

とも一方を調整し、発生する多波長光の光スペクトル形状を制御する構成であることを特徴とするコヒーレント多波長信号発生装置。

【請求項 6】 請求項 5 に記載のコヒーレント多波長信号発生装置において

前記多波長光源は、前記周期信号の位相を制御して発生する多波長光の光スペクトル形状を制御する構成である

ことを特徴とするコヒーレント多波長信号発生装置。

【請求項 7】 請求項 5 に記載のコヒーレント多波長信号発生装置において

前記多波長光源は、前記周期信号周波数の通倍数を制御して発生する多波長光の光スペクトル形状を制御する構成である

ことを特徴とするコヒーレント多波長信号発生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、多波長光源から出力されるコヒーレントな多波長光をスペクトルスライスし、複数の光変調器で各波長のコヒーレント光を変調し、波長多重して出力するコヒーレント多波長信号発生装置に関する。特に、光変調器の入出力の雑音特性が設計値になるように、多波長光源から出力される多波長光の光スペクトル形状を制御するコヒーレント多波長信号発生装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

図 17 は、従来の波長多重伝送システムの構成例を示す。図において、光送信部 50 は、伝送仕様（例えば ITU-T G.692 勧告）により規定されたそれぞれ異なる波長を有する半導体レーザ（例えば分布帰還型レーザ：DFB-LD）51-1～51-n と、各半導体レーザの出力光を送信信号により変調する光変調器 52-1～52-n と、各変調信号光を合波して波長多重信号光を出力する合波器 53 と、光増幅器 54 により構成される。伝送路光ファイバ 60 を介して光送信部 50 に接続される光受信部 70 は、伝送された波長多重信号光を増幅す

る光増幅器 7 1 と、波長多重信号光を各波長の信号光に分波する分波器 7 2 と、各波長の信号光をそれぞれ受信する受信器 7 3 - 1 ~ 7 3 - n により構成される。

#### 【0 0 0 3】

ここで、半導体レーザは、温度変化および注入電流変化により発振波長シフトが生じ、また経時変化に伴って発振波長が変化する性質を有することから、伝送仕様上の波長精度を維持するには波長安定化回路が必要になる。この波長安定化は、個々の半導体レーザに対して実施する必要があるので、波長多重数の増加および波長多重間隔の高密度化に伴い、波長安定化回路の装置全体に占める割合が増加することになる。

#### 【0 0 0 4】

このような複数の半導体レーザを用いる構成に対して、平坦な光スペクトルを有する多波長光を分波器でフィルタリング（スペクトルスライス）して複数の波長の光を生成する方法がある。この多波長光を発生する光源としては、光ファイバ増幅器から出力される増幅された自然放出光（ASE 光）を利用するものや、繰り返し短光パルスを利用するものがある。しかし、ASE 光をスペクトルスライスした光はインコヒーレント光であり、高密度・多波長の波長多重伝送には不向きである。

#### 【0 0 0 5】

一方、繰り返し短光パルスを利用する場合には、スペクトルスライス後の各波長チャネルのパワーレベル偏差を解消するために、例えば非線形光ファイバ透過によるスーパーコンティニウム発生により広帯域スペクトル発生に伴う光スペクトル平坦化を行う手法や、逆特性をもつ光フィルタを用いたパワーレベル偏差抑制により光スペクトル平坦化を行う手法が提案されている。

#### 【0 0 0 6】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかし、スーパーコンティニウム発生に伴う平坦化では、用いる非線形光ファイバは、与えられた種パルスのスペクトルが広帯域かつ平坦になるように、分散プロファイルとファイバ長が設計される。そのため、得られる光スペクトル形状



はその非線形光ファイバの特性で決まり、各モードのパワーレベル偏差を動的に制御することができなかった。また、逆特性をもつ光フィルタによる平坦化では、光フィルタ透過後の光スペクトル形状がその光フィルタのもつ透過特性によって決定され、同様に各モードのパワーレベル偏差を動的に制御することができなかった。

【0007】

これに対して、単一の中心波長を有する光を特定の繰り返し周期を有する電気信号で変調し、光スペクトルが平坦化された多波長光を発生させることができるとともに、光スペクトル形状（各モードのパワーレベル偏差）を制御することができる多波長光源（光スペクトル平坦化方法及び光スペクトル平坦化装置（特願2000-207475）、多波長一括発生装置（特願2000-207494）、以下「先願」という。）が出願されている。

【0008】

本発明は、先願の多波長光源を用いて多波長光を発生させ、多波長光の光スペクトル形状の制御が可能な構成において、従来の半導体レーザを用いた光送信部に求める性能仕様との整合を図る設計が可能なコヒーレント多波長信号発生装置を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明のコヒーレント多波長信号発生装置は、多波長光をスペクトルスライスして得られた各波長のコヒーレント光を変調する光変調器入力の相対強度雑音 $RIN$ または光変調器出力の信号雑音比 $SNR$ について、伝送システム（光ファイバ品種、距離、中継段数）のパラメータから要請される所定の $RIN$ または $SNR$ が得られるように、多波長光の光スペクトル形状を制御することを特徴とする（請求項1～4）。

【0010】

多波長光源は、単一の中心波長を有する光を発生する光源と、その出力光を所定の周期信号により強度変調または位相変調して多波長光を発生させる光変調器とを備え、周期信号の電圧または光変調器のバイアス電圧を調整し、発生する多

波長光の光スペクトル形状を制御する構成である（請求項５）。

【００１１】

また、多波長光源は、周期信号の位相を制御して発生する多波長光の光スペクトル形状を制御する構成である（請求項６）。また、多波長光源は、周期信号周波数の通倍数を制御して発生する多波長光の光スペクトル形状を制御する構成である（請求項７）。

【００１２】

【発明の実施の形態】

図１は、本発明のコヒーレント多波長信号発生装置の第１の実施形態を示す。図において、コヒーレント多波長信号発生装置は、先願の多波長光源１１と、多波長光を各波長にスペクトルスライスする分波器１２と、各スペクトルスライス光を送信信号により変調する光変調器５２－１～５２－ｎと、各変調信号光を合波してコヒーレント多波長信号を出力する合波器５３と、光増幅器５４と、多波長光源１１から出力される多波長光の一部を分岐する光カプラ１３と、分岐した多波長光を入力し、光変調器入力の相対強度雑音 $RIN$ または光変調器出力の信号雑音比 $SNR$ が設計値になるように、多波長光源１１の光スペクトル形状制御を行う制御回路１４により構成される。

【００１３】

図２は、本発明のコヒーレント多波長信号発生装置の第２の実施形態を示す。本実施形態のコヒーレント多波長信号発生装置は、第１の実施形態の構成における多波長光源１１と分波器１２との間に、多波長光を増幅する光増幅器１５を備え、増幅された多波長光の一部を制御回路１４に導く構成になっている。

【００１４】

図３は、本発明のコヒーレント多波長信号発生装置を用いた波長多重伝送システムの構成例を示す。図において、伝送路光ファイバ６０を介してコヒーレント多波長信号発生装置１０に接続される光受信部７０は、伝送された波長多重信号光を増幅する光増幅器７１と、波長多重信号光を各波長の信号光に分波する分波器７２と、各波長の信号光をそれぞれ受信する受信器７３－１～７３－ｎにより構成される。

## 【0015】

図4は、多波長光源11の第1の構成例を示す。図において、多波長光源11は、単一の中心波長を有する光を発生する光源21と、光源21の出力光を振幅変調または位相変調を行う複数の光変調器22-1, 22-2を有する光変調部23と、所定の周期信号を発生する周期信号発生器24と、所定の周期信号電圧を調整して各光変調器22-1~22-2に印加するパワー調整部25-1~25-2と、各光変調器22-1~22-2にパワー調整されたバイアス電圧を印加するパワー可変直流電源26-1~26-2から構成される。なお、光変調部23は、例えばマッハツェンダ強度変調器を用いて分岐されたパスで位相変調を行い、全体として振幅変調動作させる構成としてもよい。

## 【0016】

光変調部23の光変調器22-1では、光源11の出力光（連続光）の時間波形の振幅または位相を変調することにより、その出力光の離散光スペクトルの各モードの位相に一定の相関を与える（図5(a)）。さらに、光変調器22-2では、その変調波の振幅または位相を変調することにより、離散光スペクトルを周波数軸上で上下側波帯に偏移させる（図5(b)）。ここで、周波数偏移量を調節することにより、離散光スペクトルが重なって各モードのパワーレベル偏差を一定に制御することができる（図5(c)）。

## 【0017】

図6は、光変調部23として強度変調器と位相変調器を用いた場合の光スペクトル形状制御例を示す。図6(a),(b),(c)は、 $\text{LiNbO}_3$  マッハツェンダ強度変調器の印加電圧（ $V_\pi$ 電圧換算）を変化させた場合のスペクトル例であり、図6(d),(e),(f)は、位相変調器の印加電圧（ $V_\pi$ 電圧換算）を変化させた場合のスペクトル例であり、図6(g),(h),(i)は、両変調器をそれぞれの印加電圧ごとに組み合わせたときの多波長光の光スペクトル例である。この多波長光の光スペクトルには、コヒーレント光である複数のキャリア41と、広帯域に広がった自然放出光42が存在する。

## 【0018】

図7は、光増幅器で増幅した多波長光の光スペクトルを模式的に示す。多波長

光の光スペクトルには、コヒーレント光である複数のキャリア 4 1 と、広帯域に広がった自然放出光 4 2 と、光増幅器で発生した自然放出光（増幅された自然放出光：ASE 光）4 3 が存在する。

## 【0019】

この光スペクトル形状を変化させるための制御パラメータは、強度変調器および位相変調器の変調指数（周期信号電圧）および強度変調器のバイアス電圧となる。すなわち、パワー調整部 2 5 - 1 ~ 2 5 - 2 およびパワー可変直流電源 2 6 - 1 ~ 2 6 - 2 に制御信号を入力し、周期信号電圧やバイアス電圧を調整することにより、所定の光スペクトル形状が得られるように制御することができる。

## 【0020】

図 8 は、多波長光源 1 1 の第 2 の構成例を示す。本構成は、第 1 の構成例のパワー調整部 2 5 - 1 ~ 2 5 - 2 の前段に、位相調整器 2 7 や通倍器 2 8 を配置したものである。この位相調整器 2 7 で光変調器 2 2 - 1, 2 2 - 2 に印加する周期信号の位相差を調整し、通倍器 2 8 で周期信号周波数の通倍数を制御することにより、所定の光スペクトル形状が得られるように制御することができる。

## 【0021】

図 9 は、周期信号の位相調整による光スペクトル形状の制御例を示す。図 9 (a), (b), (c) は、それぞれ位相差を 0, +X, -X に設定した場合の光スペクトル形状である。

## 【0022】

図 1 0 は、周期信号の周波数通倍による光スペクトル形状の制御例を示す。図 1 0 (a), (b), (c) は、それぞれ通倍数を 1, 2, 3 に設定した場合の光スペクトル形状である。

## 【0023】

図 1 1 は、多波長光源 1 1 の第 3 の構成例を示す。本構成は、第 1 の構成例の光変調部 2 3 として電界吸収型強度変調器 2 9 を用いたものである。この電界吸収型強度変調器の印加電圧に対する吸収係数（透過率）の指数関数的な特性を利用し、周期信号電圧に対して矩形の出力光強度を示し、かつバイアス点を変化させることによりデューティ比を変化させ、光スペクトル形状を変化させることが

できる。

【0024】

図12は、電界吸収型強度変調器を用いた場合の多波長光の光スペクトルを模式的に示す。多波長光の光スペクトルには、コヒーレント光である複数のキャリア41と、広帯域に広がった自然放出光42が存在する。

【0025】

図13は、多波長光源11の第4の構成例を示す。図において、多波長光源11は、パルス光源31と、パルス光源31の出力パルス光のスペクトル形状を制御するスペクトル形状制御手段32から構成される。スペクトル形状制御手段32では、パルス光の周波数領域でのスペクトル形状（パルス幅、チャープ量に係）を、例えば分散減少ファイバを用いた断熱圧縮などのパルス圧縮により所定のスペクトル形状に制御する。この場合の制御パラメータは、図14に示すように、分散減少ファイバの入力側の分散値 $D_0$ と出力側の分散値 $D_1$ によって決まる圧縮率となる。

【0026】

図15は、多波長光のコヒーレント成分の光スペクトルと分波器12の透過特性との関係を示す。図において、レベル1は多波長光のコヒーレント成分であり、レベル2、レベル3の2倍が波長チャンネル間隔に等しいビート周波数の雑音分となる。したがって、分波器12の透過帯域幅を多波長光の波長チャンネル間隔に比べて十分に小さくすることにより、所望波長成分を切り出す際に隣接チャンネルからの漏れ込みを抑圧することができる。これにより、多波長光がパルス光のような場合でも、連続光を出力することができる。

【0027】

以下、多波長光の光スペクトル形状を制御する構成において、従来の半導体レーザを用いた光送信部に求める性能仕様との整合を図るための設計について説明する。

【0028】

（変調器入力相対強度雑音 $RIN(i)$ を設計する例）

図16は、半導体レーザの誘導放出光と自然放出光の関係を示す。半導体レー

ずは、閾値以下までは注入電流（固体レーザーなどであれば励起光強度）の増加に伴って光出力強度は緩やかに変化し、閾値において誘導放出する状態となり、光出力は急激に増加する。自然放出光はインコヒーレント光であり、閾値における光出力強度  $P_{SE}$  として与えられ、誘導放出光はコヒーレント光であり、注入電流に応じて光出力強度  $P_{LAS}$  で与えられる。

【0029】

ここで、自然放出に対する誘導放出確率比  $\gamma$  は、

$$\gamma = 10 \log_{10} (P_{LAS} / P_{SE})$$

で定義される。

【0030】

一方、自然放出光帯域を  $BW_{SE}$  [Hz]、分波器によるスペクトルスライス前の相対強度雑音  $RIN$  [dB/Hz]、分波器でスペクトルスライスされた  $i$  番目の波長成分の光強度を  $P_i$  とすると、その相対強度雑音  $RIN(i)$  は、

$$RIN(i) = RIN + 10 \log_{10} (P_i / \sum P_i)$$

$$RIN = -\gamma - 10 \log_{10} BW_{SE} + 3$$

と表される。

【0031】

図1の制御回路14は、多波長光の相対強度雑音  $RIN$  を測定し、分波器12でスペクトルスライスされた  $i$  番目の出力光強度を  $P_i$  を推定することにより、 $i$  番目の波長成分の相対強度雑音  $RIN(i)$  を算定する。そして、各波長成分の相対強度雑音  $RIN(i)$  が設計値なるように、多波長光源11のパワー調整部25、パワー可変直流電源26、位相調整器27、通倍器28などを制御する。

【0032】

また、分波器12の  $i$  番目の出力光強度  $P_i$  は、光変調器52-1～52-nの入力パワーモニタ機能により測定されたものを制御回路14に入力するようにしてもよい。また、制御回路14は、分波器12でスペクトルスライスされた各波長成分の相対強度雑音  $RIN(i)$  を直接測定するようにしてもよい。

【0033】

また、図2の制御回路14には、光増幅器15で増幅された多波長光が入力さ

れる。この多波長光には、図7に示すように、光増幅器15で発生した自然放出光（増幅された自然放出光：ASE光）43が存在する。

## 【0034】

ここで、光増幅器15の利得を $g$ 、光増幅帯域を $BW_{AMP}$  [Hz]、横モードの総数を $m$ 、反転分布パラメータを $n_{sp}$ 、多波長光源11の中心光周波数を $\nu$  [Hz]とすると、自然放出に対する誘導放出確率比 $\gamma$ は、

$$\gamma = 10 \log_{10} \left[ g P_{LAS} / \{ g P_{SE} (BW_{SE} / BW_{AMP}) + h \nu (g - 1) n_{sp} \cdot m \cdot BW_{AMP} \} \right]$$

と表される。

## 【0035】

（変調器出力の信号対雑音比SNRを設計する例1）

図1または図2に示すコヒーレント多波長信号発生装置において、図3に示す波長多重伝送システムの受信器73の帯域を $B_e$  [Hz]、分波器72の分波帯域を $B_o$  [Hz]、信号のマーク率を $M$ 、 $i$ 番目の変調器出力の信号光強度を $P(i)$  [dBm]、この変調器出力の誘導放出光強度を $P_c(i)$  [dBm]、この変調器出力の自然放出光強度を $P_s(i)$  [dBm]、受信器における等価的電流を $I_{eq}$  [A]、信号成分のショット雑音を $N_s$ 、信号成分と自然放出光のビート雑音を $N_{s-sp}$ 、自然放出光間のビート雑音を $N_{sp-sp}$ 、受信器の熱雑音を $N_{th}$ とすると、変調器出力の信号対雑音比SNRは、

$$SNR = S / (N_s + N_{s-sp} + N_{sp-sp} + N_{th})$$

$$P_s(i) = R I N(i) + 10 \log_{10} B_e + P_c(i) + 10 \log_{10} M$$

$$S = ((e \eta / h \nu) P_c(i))^2$$

$$N_s = 2 e ((e \eta / h \nu) P(i)) B_e$$

$$N_{s-sp} = 4 (e \eta / h \nu)^2 P_c(i) P_s(i) B_e / B_o$$

$$N_{th} = I_{eq}^2 B_e$$

と表される。ただし、 $S$ 、 $N_s$ 、 $N_{s-sp}$ における $P(i)$ 、 $P_c(i)$ 、 $P_s(i)$ はリニア表記、単位はWである。

## 【0036】

コヒーレント多波長信号発生装置の制御回路14は、変調器出力の信号対雑音

比 S N R が上式に従うように、多波長光源 1 1 のパワー調整部 2 5、パワー可変直流電源 2 6、位相調整器 2 7、通倍器 2 8などを制御する。

【 0 0 3 7 】

(変調器出力の信号対雑音比 S N R を設計する例 2)

図 1 または図 2 に示すコヒーレント多波長信号発生装置において、図 3 に示す波長多重伝送システムの受信器 7 3 の帯域を  $B_e$  [Hz]、分波器 7 2 の分波帯域を  $B_o$  [Hz]、信号のマーク率を  $M$ 、 $i$  番目の変調器出力の信号光強度を  $P(i)$  [dBm]、この変調器出力の誘導放出光強度を  $P_c(i)$  [dBm]、この変調器出力の自然放出光強度を  $P_s(i)$  [dBm]、受信器における等価的電流を  $I_{eq}$  [A]、合波器における  $j$  番目のポートから  $i$  番目のポートに漏れ込む割合を  $X_T(j)$ 、合波器におけるクロストーク信号光強度を  $P_x(i)$  [dBm]、信号成分のショット雑音を  $N_s$ 、信号成分と自然放出光のビート雑音を  $N_{s-sp}$ 、信号成分とクロストーク信号光のビート雑音を  $N_{s-x}$ 、自然放出光間のビート雑音を  $N_{sp-sp}$ 、クロストーク信号光と自然放出光のビート雑音を  $N_{x-sp}$ 、受信器の熱雑音を  $N_{th}$  とすると、変調器出力の信号対雑音比 S N R は、

$$S N R = S / (N_s + N_{s-sp} + N_{x-sp} + N_{sp-sp} + N_{s-x} + N_{th})$$

$$P_s(i) = R I N(i) + 10 \log_{10} B_e + P_c(i) + 10 \log_{10} M$$

$$P_x(i) = \sum P(j) \cdot X_T(j)$$

$$S = ((e \eta / h \nu) P_c(i))^2$$

$$N_s = 2 e ((e \eta / h \nu) P(i)) B_e$$

$$N_{s-sp} = 4 (e \eta / h \nu)^2 P_c(i) P_s(i) B_e / B_o$$

$$N_{x-sp} = 4 (e \eta / h \nu)^2 P_x(i) P_s(i) B_e / B_o$$

$$N_{s-x} = (e \eta / h \nu)^2 P_c(i) P_x(i)$$

$$N_{th} = I_{eq}^2 B_e$$

と表される。ただし、 $S$ 、 $N_s$ 、 $N_{s-sp}$ 、 $N_{x-sp}$ 、 $N_{s-x}$  における  $P(i)$ 、 $P_c(i)$ 、 $P_s(i)$  はリニア表記、単位は W である。

【 0 0 3 8 】

コヒーレント多波長信号発生装置の制御回路 1 4 は、変調器出力の信号対雑音比 S N R が上式に従うように、多波長光源 1 1 のパワー調整部 2 5、パワー可変



直流電源 2 6、位相調整器 2 7、通倍器 2 8などを制御する。

【0 0 3 9】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明のコヒーレント多波長信号発生装置は、多波長光源を構成する光変調器に印加する周期信号の電圧またはバイアス電圧を調整し、発生する多波長光の光スペクトル形状を制御する構成により、多波長光をスペクトルスライスして得られた各波長のコヒーレント光を変調する光変調器入力に対する相対強度雑音  $RIN$  または光変調器出力の信号雑音比  $SNR$  を定量的に設計することができる。

【0 0 4 0】

また、多波長光源を構成する光変調器に印加する周期信号の位相または周波数の通倍数を制御して発生する多波長光の光スペクトル形状を制御する構成においても同様である。

【0 0 4 1】

これにより、従来の半導体レーザを用いた光送信部に求める性能仕様との整合を図ることができるコヒーレント多波長信号発生装置を設計することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明のコヒーレント多波長信号発生装置の第 1 の実施形態を示す図。

【図 2】

本発明のコヒーレント多波長信号発生装置の第 2 の実施形態を示す図。

【図 3】

本発明のコヒーレント多波長信号発生装置を用いた波長多重伝送システムの構成例を示す図。

【図 4】

多波長光源 1 1 の第 1 の構成例を示す図。

【図 5】

多波長光源 1 1 における多波長光発生原理を説明する図。

【図 6】

光変調部 2 3 として強度変調器と位相変調器を用いた場合の光スペクトル形状制御例を示す図。

【図 7】

光増幅器で増幅した多波長光の光スペクトルを示す図。

【図 8】

多波長光源 1 1 の第 2 の構成例を示す図。

【図 9】

周期信号の位相調整による光スペクトル形状の制御例を示す図。

【図 1 0】

周期信号の周波数通倍による光スペクトル形状の制御例を示す図。

【図 1 1】

多波長光源 1 1 の第 3 の構成例を示す図。

【図 1 2】

電界吸収型強度変調器を用いた場合の多波長光の光スペクトルを示す図。

【図 1 3】

多波長光源 1 1 の第 4 の構成例を示す図。

【図 1 4】

分散減少ファイバによる断熱圧縮の原理を説明する図。

【図 1 5】

多波長光のコヒーレント成分の光スペクトルと分波器 1 2 の透過特性との関係を説明する図。

【図 1 6】

半導体レーザの誘導放出光と自然放出光の関係を説明する図。

【図 1 7】

従来の波長多重伝送システムの構成例を示す図。

【符号の説明】

1 0 コヒーレント多波長信号発生装置

1 1 多波長光源

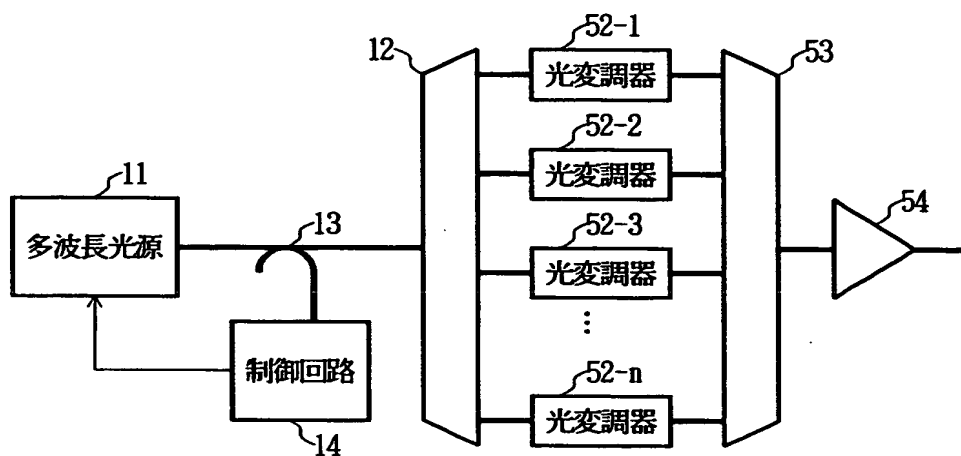
1 2 分波器

- 1 3 光カプラ
- 1 4 制御回路
- 1 5 光増幅器
- 2 1 光源
- 2 2 光変調器
- 2 3 光変調部
- 2 4 周期信号発生器
- 2 5 パワー調整部
- 2 6 パワー可変直流電源
- 2 7 位相調整器
- 2 8 通倍器
- 2 9 電界吸収型強度変調器
- 3 1 パルス光源
- 3 2 スペクトル形状制御手段
- 5 0 光送信部
- 5 1 半導体レーザ ( D F B - L D )
- 5 2 光変調器
- 5 3 合波器
- 5 4 光増幅器
- 6 0 伝送路光ファイバ
- 7 0 光受信部
- 7 1 光増幅器
- 7 2 分波器
- 7 3 受信器

【書類名】 図面

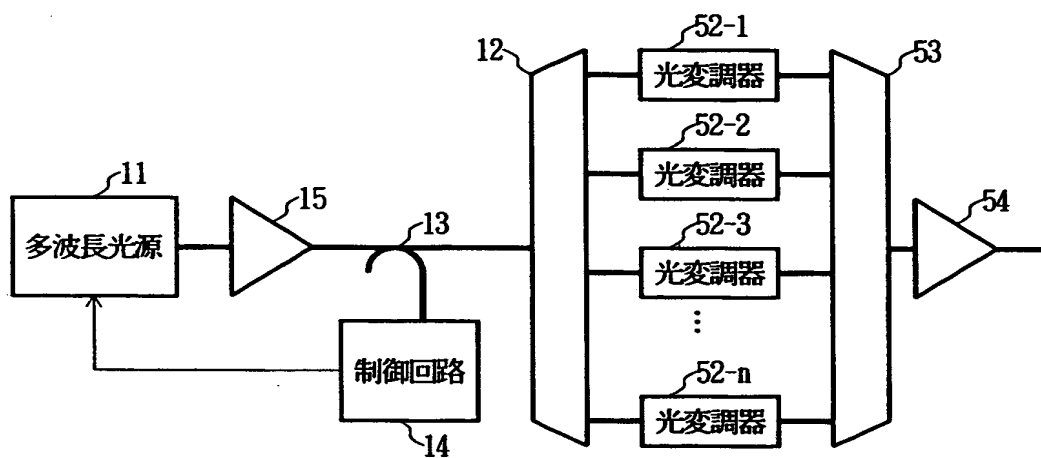
【図 1】

本発明のコヒーレント多波長信号発生装置の第 1 の実施形態



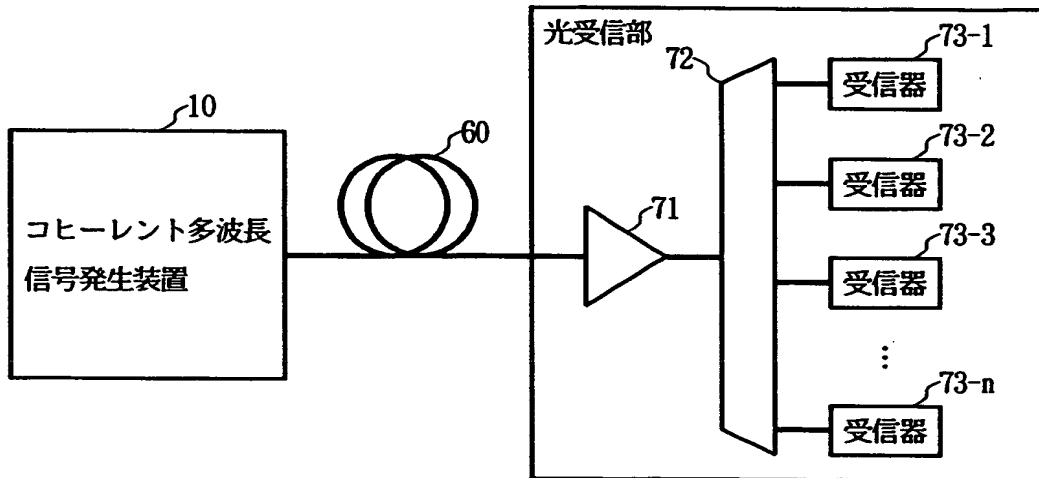
【図 2】

本発明のコヒーレント多波長信号発生装置の第 2 の実施形態



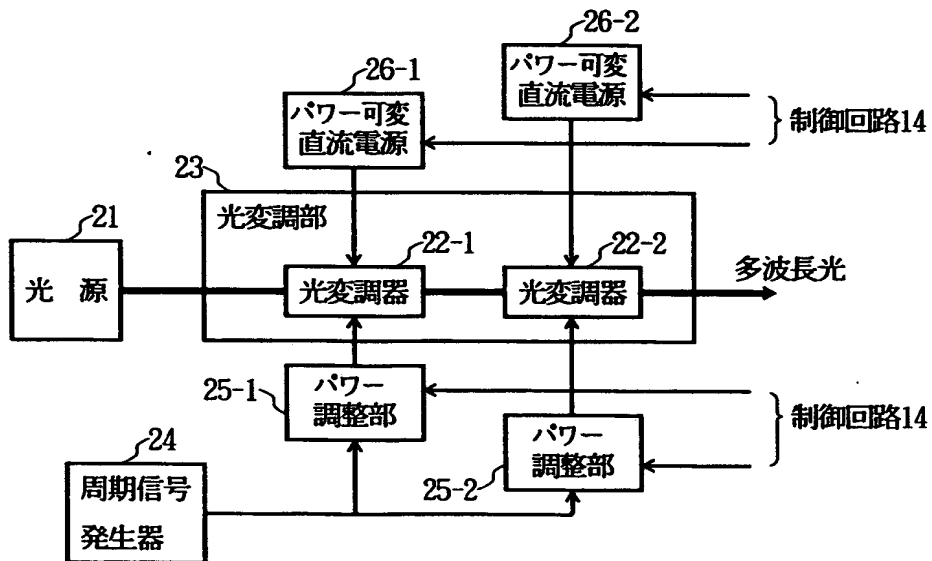
【図 3】

本発明のコヒーレント多波長信号発生装置を用いた波長多重伝送システムの構成例



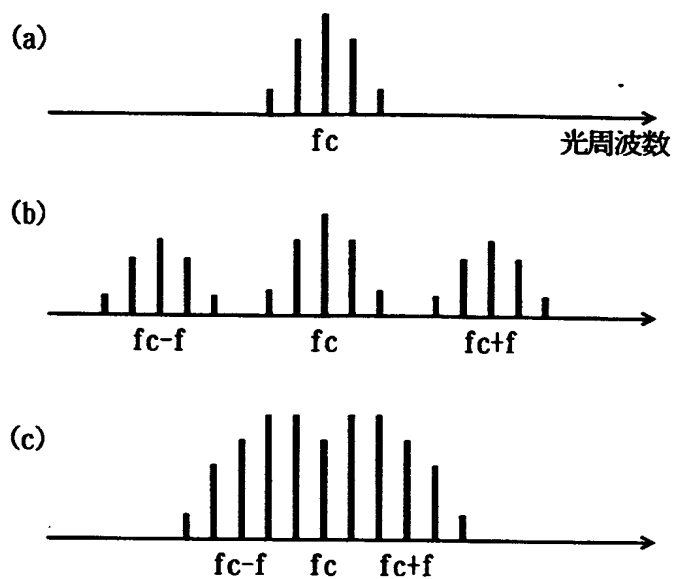
【図 4】

多波長光源11の第1の構成例



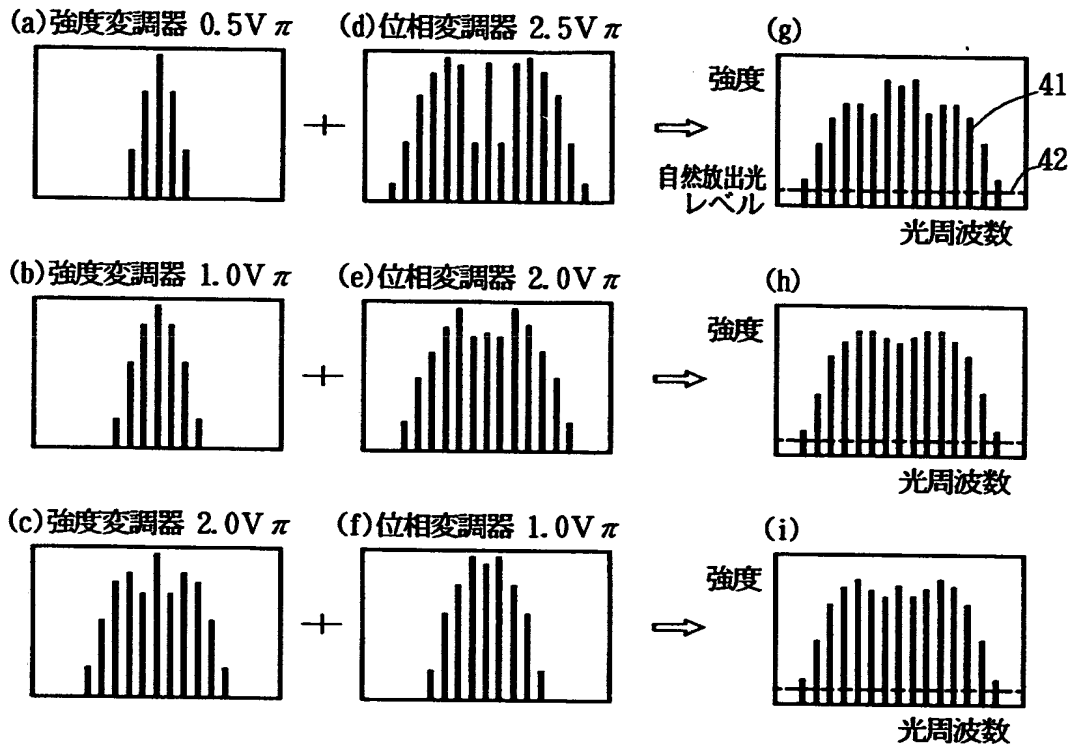
【図 5】

多波長光源11における多波長光発生原理



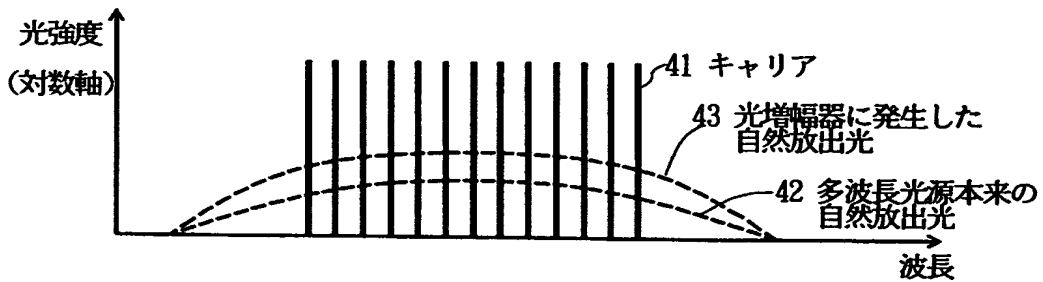
【図 6】

光変調部23として強度変調器と位相変調器を用いた場合の光スペクトル形状制御例



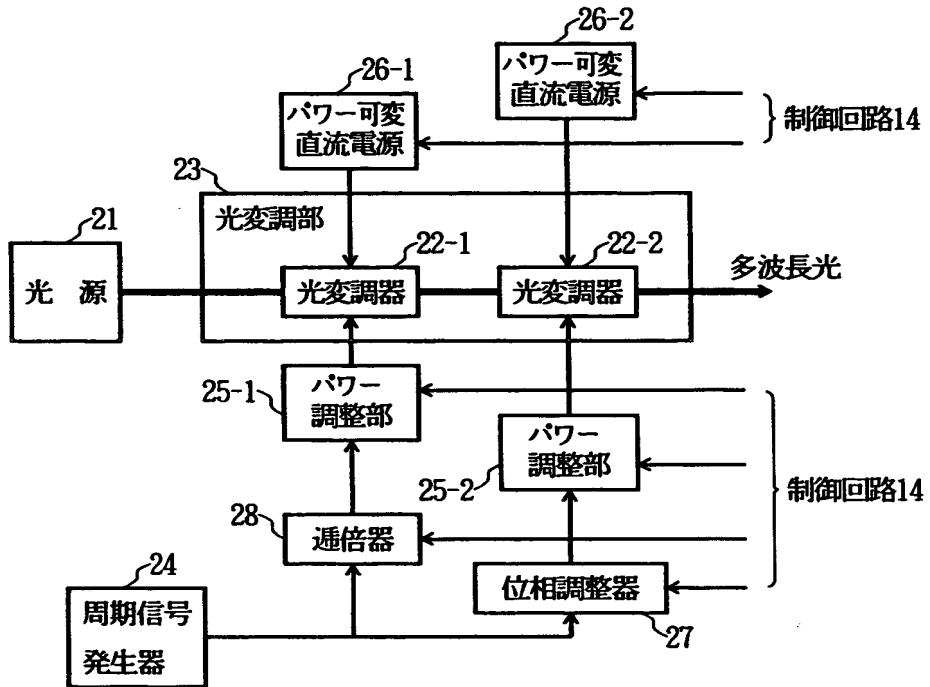
【図 7】

光増幅器で増幅した多波長光の光スペクトル



【図 8】

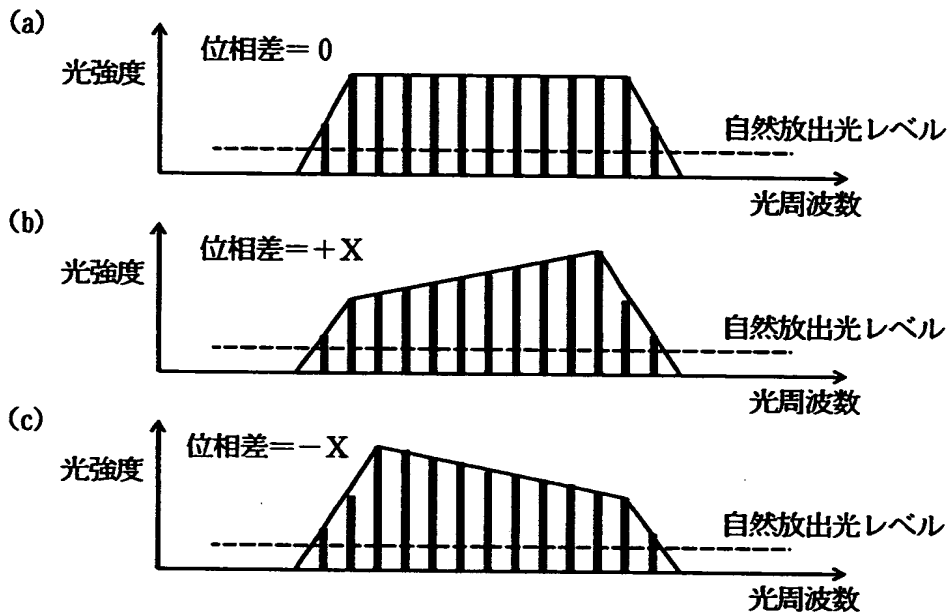
多波長光源11の第2の構成例





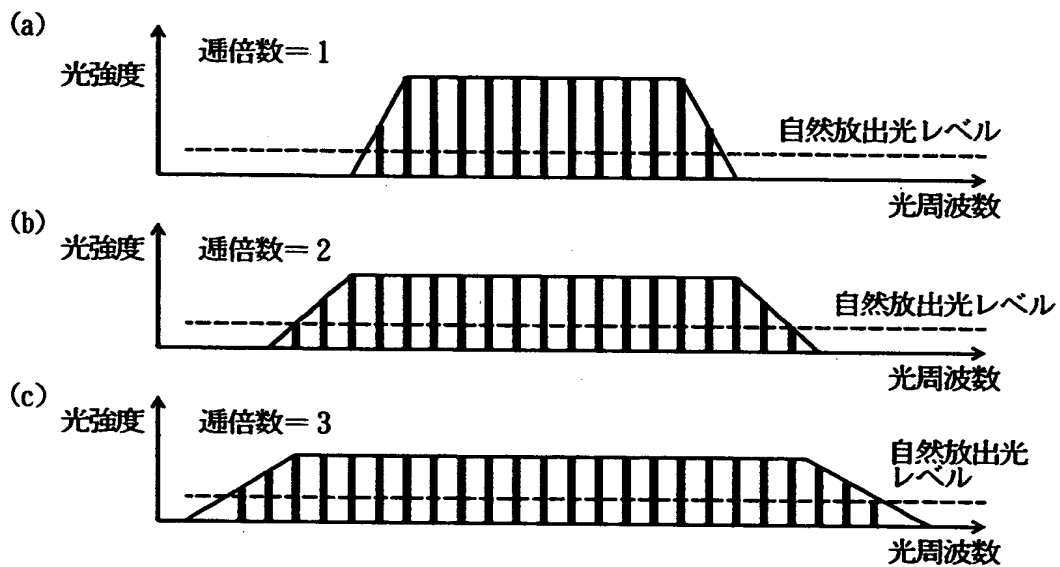
【図 9】

周期信号の位相調整による光スペクトル形状の制御例



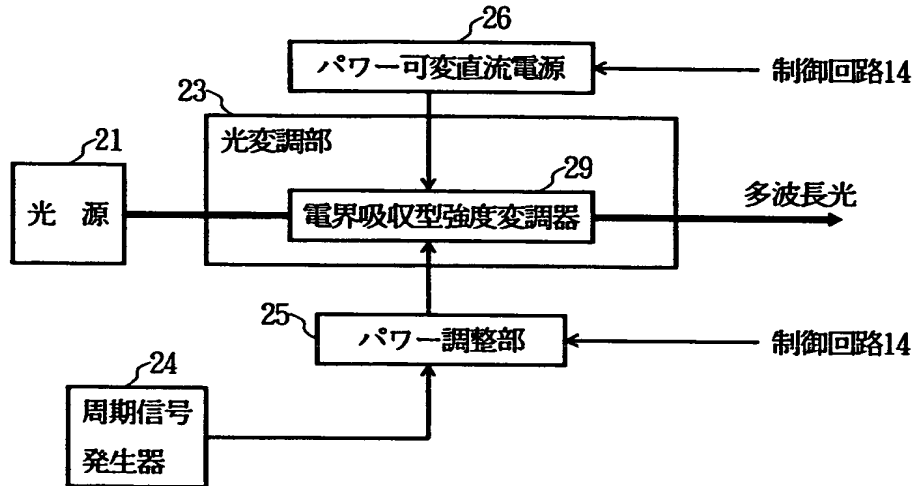
【図 1 0】

周期信号の周波数通倍による光スペクトル形状の制御例



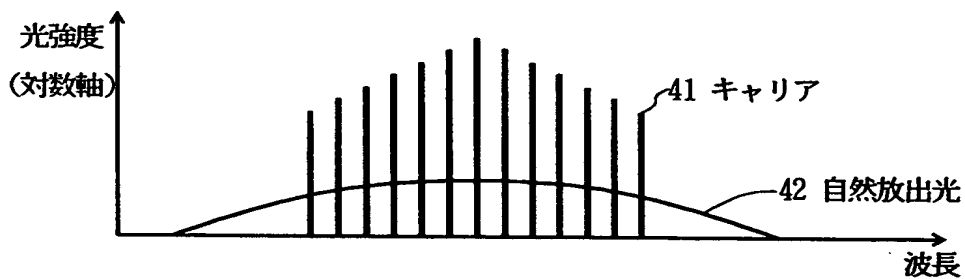
【図 1 1】

多波長光源11の第 3 の構成例



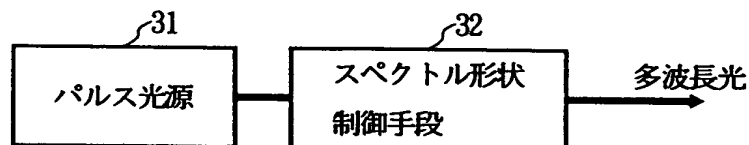
【図 1 2】

電界吸収型強度変調器を用いた場合の多波長光の光スペクトル



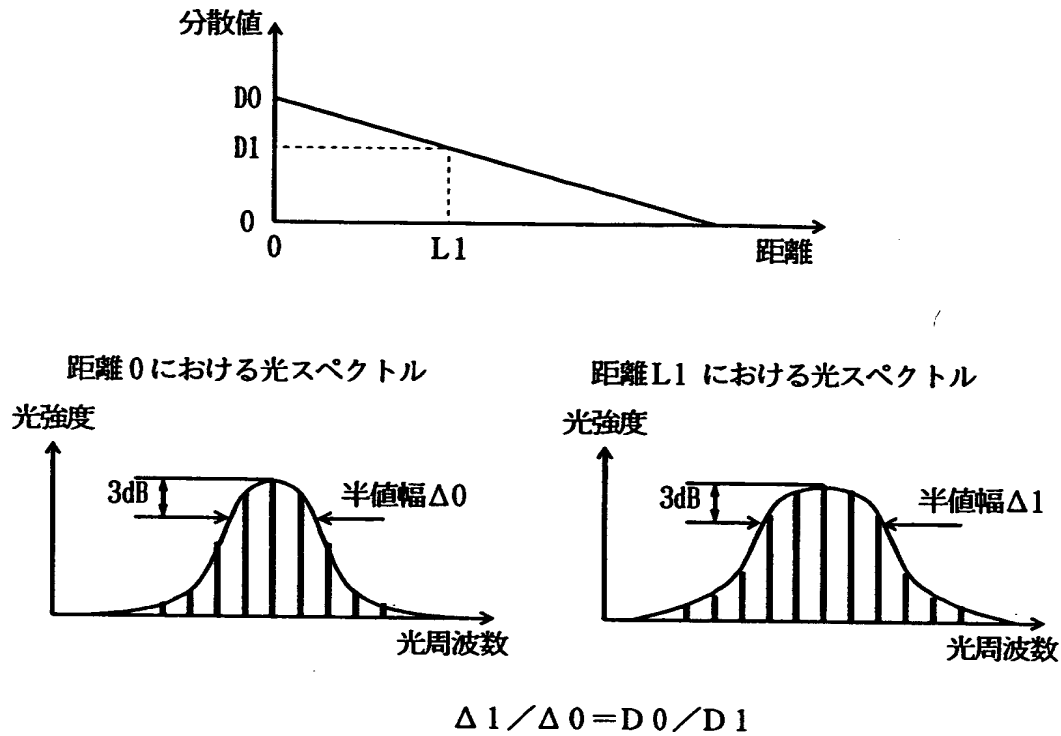
【図 1 3】

多波長光源11の第 4 の構成例



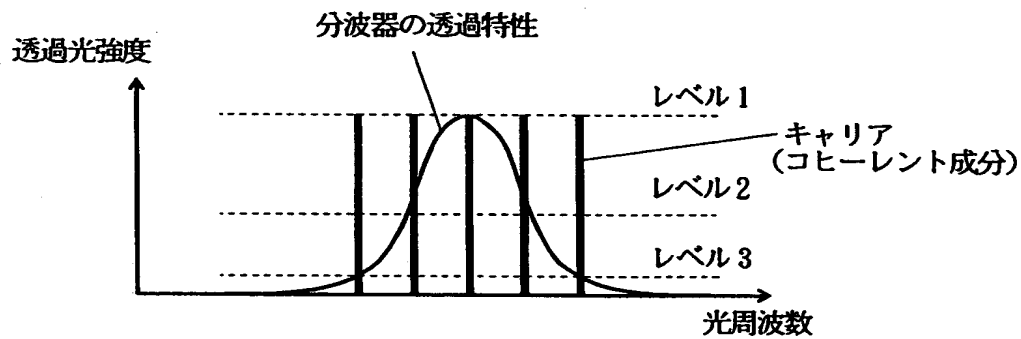
【図 1 4】

分散減少ファイバによる断熱圧縮の原理



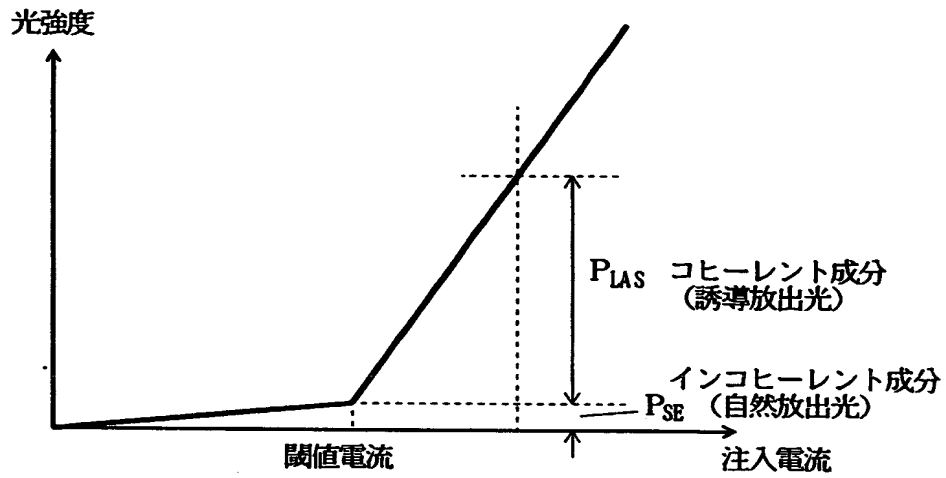
【図 1 5】

多波長光のコヒーレント成分の光スペクトルと分波器12の透過特性との関係



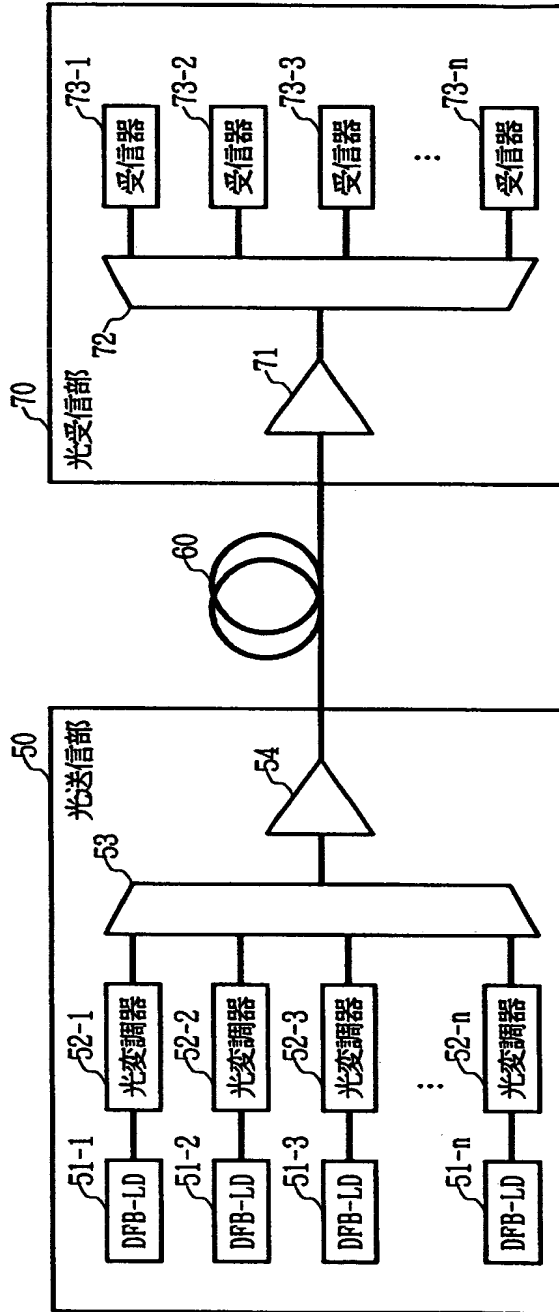
【図 16】

半導体レーザの誘導放出光と自然放出光の関係



【図 1 7】

従来の波長多重伝送システムの構成例



【書類名】            要約書

【要約】

【課題】    多波長光源を用いて多波長光を発生させ、多波長光の光スペクトル形状の制御が可能な構成において、従来の半導体レーザを用いた光送信部に求める性能仕様との整合を図る設計を可能とする。

【解決手段】    多波長光をスペクトルスライスして得られた各波長のコヒーレント光を変調する光変調器入力の相対強度雑音  $RIN$  または光変調器出力の信号雑音比  $SNR$  について、伝送システム（光ファイバ品種、距離、中継段数）のパラメータから要請される所定の  $RIN$  または  $SNR$  が得られるように、多波長光の光スペクトル形状を制御する。

【選択図】            図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000004226]

1. 変更年月日	1999年 7月15日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都千代田区大手町二丁目3番1号
氏 名	日本電信電話株式会社